مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۷، از صفحهٔ ۳۳۹ تا ۳۵۴

انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

شیمی کانی کلینوپیروکسن در سنگ‌های بازالتی ائوسن گردنه آهوان، شمال‌شرق سمنان

مهدی رضائی کهخائی*، آزاده قصابی فیض، حبیب اله قاسمی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود، شاهرود

(دریافت مقاله: ۹۶/۳/۵، نسخه نهایی: ۹۶/۶/۲۹)

چکیده: سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن منطقه وسیعی را در گردنه آهوان در شمال‌شرق سمنان پوشانده‌اند. این سنگ‌ها بیشتر شامل بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت با بافت‌های هیالوپورفیری، پورفیری و گلومروپورفیری هستند. سنگ‌های بازالتی از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن تشکیل شده‌اند. سرسیت، کائولینیت، کلسیت و کلریت نیز کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند. اندازه کلینوپیروکسن‌های موجود در این سنگ‌ها از متوسط تا ریز متغیر است. ترکیب آن‌ها از نوع آهن-منیزیم-کلسیم‌دار است و در میدان ترکیبی دیوپسید قرار می‌گیرند. کلینوپیروکسن‌های با اندازه متوسط، منطقه‌بندی معکوس نشان می‌دهند و بررسی تغییرات ترکیب شیمیایی آنها بیانگر این است که زون بینابین هسته و حاشیه، از عناصر Fe، Al و Ti تهی شده است، در حالیکه از Mg، Ca و Si غنی‌شدگی نشان می‌دهد. نمودارهای تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی مبتنی بر پایه ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها نشان دهنده تشکیل آنها از یک ماگمای قلیایی تا نیمه قلیایی و با مقدار آب ۵-۲٪ و گریزندگی اکسیژن بالاست. همچنین، بررسی‌های دما-فشارسنجی نشان می‌دهند که این کلینوپیروکسن‌ها در فشارهای حدود ۱ کیلوبار و دمای ۱۲۳۰-۱۱۱۰ درجه سانتی‌گراد متبلور شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی؛ *دما-فشارسنجی؛ کلینوپیروکسن؛ سنگ‌های آتشفشانی؛ گردنه آهوان؛ سمنان.*

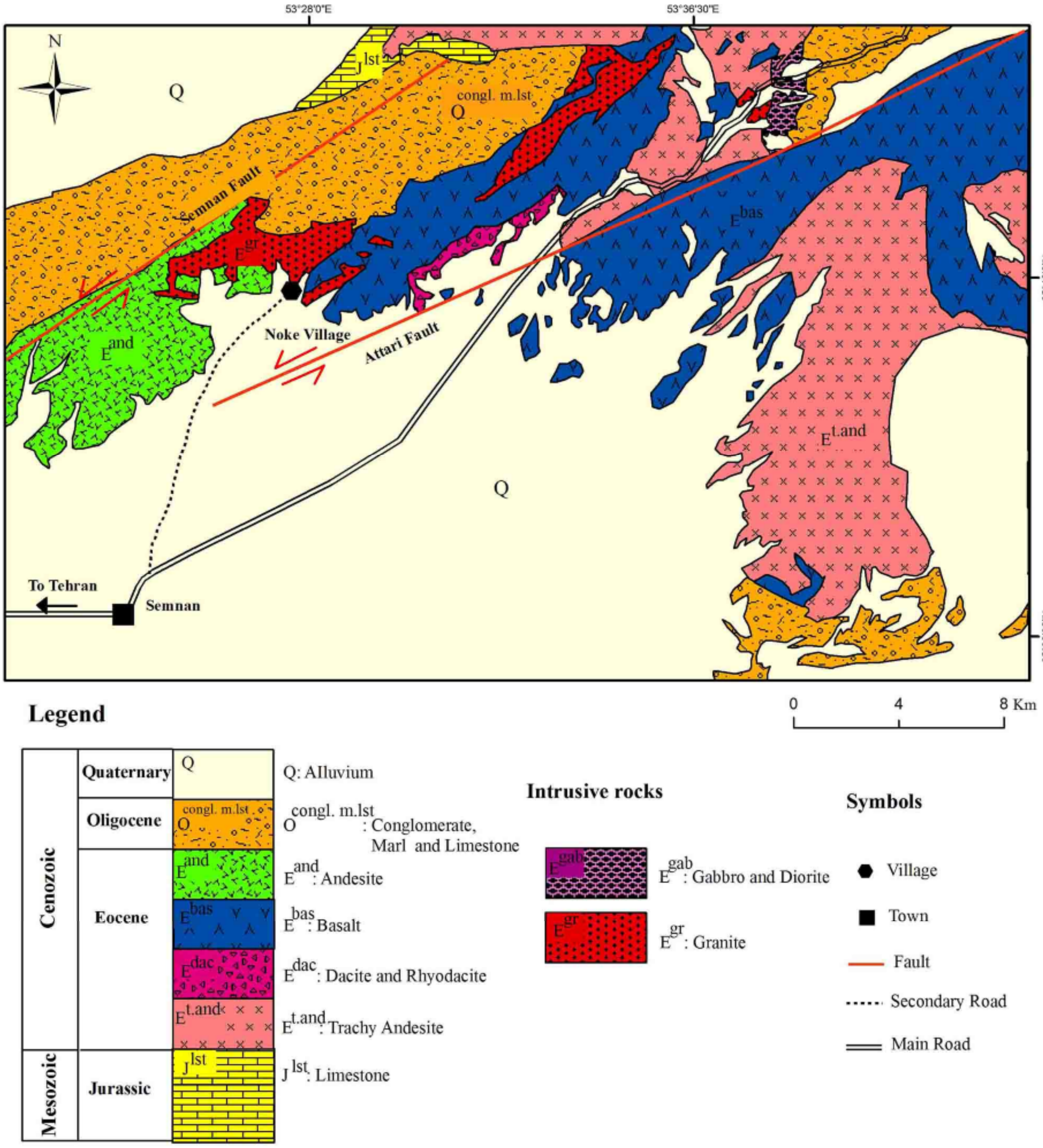
مقدمه

گردنه آهوان در ۲۶ کیلومتری شمال‌شرق شهر سمنان، بین طول‌های جغرافیایی″۲۴ ′۴۲ °۵۳ -″۲۵ ′۲۵ °۵۳ و عرض‌های جغرافیایی″۴۶ ′۴۱ °۳۵ -″۱۲ ′۴۰ °۳۵ واقع است و از نظر تقسیمات زمین‌شناختی در مرز دو پهنه ساختاری البرز و ایران مرکزی قرار دارد. در این منطقه، در نتیجه فعالیت‌های ماگمایی پالئوژن، سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی حجیمی رخنمون یافته‌اند. پژوهش‌های متعددی در این منطقه انجام شده که شامل بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی سنگ‌های آتشفشانی [۱، ۲]، سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و پتانسیل کانه‌زایی سنگ‌های آذرین [۳]، بررسی‌های دگریختی واحدهای سنگی [۴] و تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ [۵] بوده است. این بررسی‌ها نشان داد که سنگ های آتشفشانی گردنه آهوان دارای سن ائوسن بوده و طیف ترکیبی گسترده‌ای از بازالت، آندزیت، داسیت و ریولیت دارند (شکل ۱).

کلینوپیروکسن، فراوان‌ترین و مهم‌ترین کانی موجود در سنگ‌های بازالتی گردنه آهوان است و بررسی ترکیب شیمیایی آن اطلاعات بسیار مهمی درباره خاستگاه ماگمایی و شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور ماگما (از قبیل دما، فشار و گریزندگی اکسیژن) در اختیار ما قرار می‌دهد. از آنجا که تاکنون ترکیب شیمیایی کانی‌های سنگ‌های بازالتی منطقه، بررسی نشده است، در این پژوهش به بررسی ویژگی‌های شیمیایی کلینوپیروکسن‌های موجود در این بازالت‌ها با استفاده از ریزپردازشگر الکترونی (EPMA) خواهیم پرداخت. نخست ترکیب شیمیایی و تغییرات ترکیبی کانی‌های تشکیل‌دهنده

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۳۳۲۳۹۶۰۰۷، نمابر: ۰۲۳۳۲۳۹۶۰۰۷، پست الکترونیکی: Rezaei@shahroodut.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی تهیه شده براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سمنان [۷] و ۱:۱۰۰۰۰۰ جام [۸] و نمونه برداری صورت گرفته در این پژوهش.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

بازالت‌های منطقه بررسی شده و در ادامه با استفاده از روش‌های مختلف دما-فشارسنجی، به بررسی شرایط دما و فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌ها پرداخته می‌شود.

زمین‌شناسی عمومی منطقه

در منطقه مورد بررسی، لایه‌هایی با ضخامت‌های متغیر از کنگلومرای چندزادی، ماسه‌سنگ سرخ رنگ و مارن ماسه‌ای پالئوسن (معادل با سازند فجن) رخنمون دارد (شکل ۲ الف). روی این واحد سنگی، لایه‌های از سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی-رسوبی و رسوبی (تخریبی) یافت می‌شوند که دارای گستره سنی ائوسن هستند [۶]. این سنگ‌های آتشفشانی به صورت گدازه‌های ضخیم‌لایه یا گدازه‌های بین‌لایه‌ای رخنمون دارند و اغلب دارای ترکیب بازالتی، آندزی‌بازالتی و آندزیتی

هستند. در برخی مناطق، ضخامت گدازه‌ها به بیش از ۱۰۰ متر می‌رسد ولی با توجه به اینکه بیشتر این گدازه‌ها در یک محیط رسوبی کم‌عمق تا نیمه‌عمیق تشکیل شده‌اند، سنگ‌های بازالتی –آندزیتی با فراورده‌های آذرآواری مربوط به خود همراه هستند. این فراورده‌ها، از برخورد گدازه داغ با آب و انفجار و تخریب آن ایجاد شده‌اند. در بین مجموعه سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ائوسن، گاهی میان‌لایه‌هایی از آهک فسیل‌دار کرم رنگ دیده می‌شود که در تماس مستقیم با سنگ‌های آندزیتی- بازالتی هستند (شکل ۲ ب). این سنگ آهک فسیلی نشانگر محیط نسبتاً کم‌عمق و گستره سنی ائوسن میانی است [۶]. واحدهای سنگی ائوسن توسط توده‌های آذرین نفوذی با طیف ترکیبی گابرو تا گرانیت قطع شده‌اند و در پی جایگزینی این توده‌ها، اسکارن‌زایی، متاسوماتیسم و دگرسانی گرمابی از نوع آرژیلیتی در سنگ‌های میزبان رخ داده است. روی واحدهای سنگی ائوسن، رسوبات توف سیلتی سفید رنگی دیده می‌شود که نازک‌لایه هستند و با توجه به رنگ سفید خود و دانه‌ریز بودن از سنگ‌های مجاور خود تفکیک می‌شوند (شکل ۲ پ). در شمال گسل بزرگ سمنان نیز، توالی نسبتاً ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی و رسوبی رخنمون دارند، که با توجه به داشتن میکروفسیل‌های نومولیتی به ائوسن تعلق دارند [۵، ۶] و با توجه به ماهیت کلی این سنگ‌ها و نیز حضور لایه-های توفیتی سبزرنگ به روشنی پیداست که این رسوبات ادامه توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن هستند (شکل ۱). روی این واحد آتشفشانی رسوبی، لایه‌های آهکی و آهکی ماسه‌ای نازک تا متوسط‌لایه به رنگ کرم، کرم مایل به سفید تا خاکستری مربوط به الیگوسن رخنمون دارند (شکل ۲ ت). گرهک‌های سیلیسی، یا افق‌های چرتی-سیلیسی از ویژگی‌های بارز این واحد هستند که گاه در اثر تنش‌های وارد شده، شکل بودینی به خود گرفته‌اند. این لایه‌های سنگی اغلب فاقد فسیل بوده و در ضمن به شدت چین خورده هستند [۵].



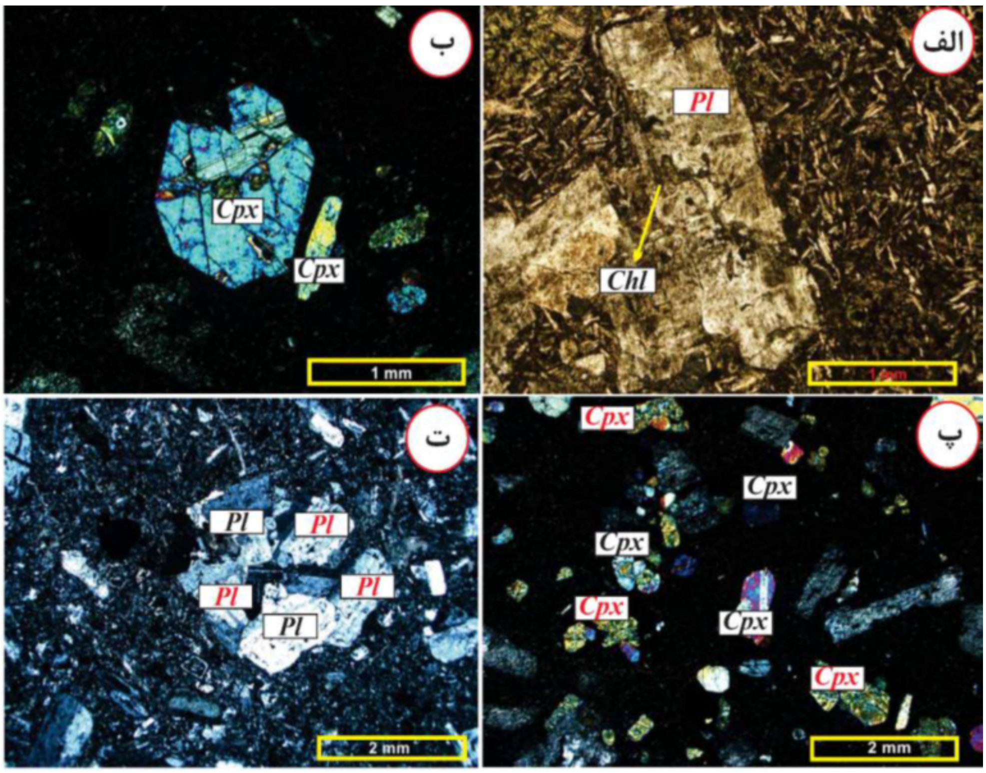
شکل ۲ تصاویری از واحدهای سنگی گردنه آهوان: الف) میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای ریز دانه تقریباً قائم که بصورت صخره‌ساز ظاهر شده‌اند. بخش‌های فروافتاده دارای ترکیب گل‌سنگی و سیلت‌سنگی قرمز رنگ هستند (جهت تصویر برداری به سمت غرب-جنوب غرب)، ب) نمای نزدیکی از آهک‌های نومولیت‌دار ائوسن، پ) نمایی از سنگ‌های توفی سیلتستون سفیدرنگ (جهت تصویر برداری به سمت شمال) و ت) مرز گسلی بارز بین آهک‌های الیگوسن و سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن (جهت تصویر برداری به سمت جنوب غرب).

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

روابط صحرایی و سنگ‌نگاری

براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن که گستره وسیعی از منطقه را بخود اختصاص داده‌اند در سه گروه سنگ‌های بازی، حدواسط و اسیدی طبقه‌بندی می‌شوند. سنگ‌های بازی شامل بازالت‌ها هستند که در نمونه دستی به رنگ سیاه دیده می‌شوند و بیشتر دارای زمینه ریزبلور هستند. این بازالت‌ها زیر میکروسکوپ کانی‌شناسی مشابهی را نشان می‌دهند و بافت‌های جریانی، پورفیری، هیالومیکرولیتی پورفیری و هیالوپورفیری در آن‌ها دیده می‌شود (شکل‌های ۳ الف، ب و پ). کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن هستند و اکسیدهای آهن، فراوان‌ترین کانی فرعی این بازالت‌ها را تشکیل می‌دهند. در برخی مقاطع میکروسکوپی دیده می شود که پیروکسن به کانی‌های ثانویه اکتینولیت و سرپانتین و پلاژیوکلاز به کلریت، سرسیت و کلسیت تبدیل شده است. بر اساس تجزیه EPMA انجام شده در این پژوهش، کانی‌های کلینوپیروکسن بیشتر دارای ترکیب دیوپسید بوده (بخش ۵-۱ را ببینید)، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار هستند و به صورت ریز تا درشت‌بلور در خمیره شیشه‌ای/ میکرولیتی قرار دارند. بررسی سنگ‌نگاری کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد که بلورهای کلینوپیروکسن با اندازه متوسط، دارای منطقه‌بندی هستند؛ در حالی که کلینوپیروکسن‌های کوچک‌تر، منطقه‌بندی ندارند. پلاژیوکلاز نیز در بازالت‌های مورد بررسی گاه به صورت منفرد و گاه به حالت انباشته‌های گلومروپورفیری دیده می‌شود. این کانی بصورت نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار همراه با ماکل‌های پلی سنتتیک و کارلسباد مشاهده می‌شود و فاقد منطقه‌بندی است.

سنگ‌های حدواسط دارای ترکیب آندزیت و تراکی آندزیت هستند و در منطقه به ترتیب به رنگ خاکستری تیره و سفید مایل به قرمز دیده می‌شوند. بررسی مقاطع نازک تهیه شده از این سنگ‌ها نشان می‌دهد که بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری و سریئت (seriate) است. همچنین، پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی موجود در آن‌ها بوده که همراه با ماکل پلی سنتتیک و کارلسباد به صورت درشت‌بلور و ریزسنگ قابل مشاهده است. این پلاژیوکلازها دچار دگرسانی‌های سوسوریتی و سرسیتی شده و به کانی‌های رسی، کلسیت، کلریت و سرسیت تجزیه شده‌اند.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در گردنه آهوان: الف) درشت‌بلور پلاژیوکلاز در زمینه میکرولیتی و بافت‌های هیالومیکرولیتی و گلومروپورفیری در آندزیت، ب و پ) درشت بلورهای کلینوپیروکسن با ماکل نواری در بازالت و بافت هیالوپورفیری در بازالت، ت) بافت گلومروفیری در داسیت. علائم اختصاری کانی‌ها عبارتند از: Pl= پلاژیوکلاز، Cpx= کلینوپیروکسن و Chl= کلریت [۹].

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

سنگ‌های اسیدی دارای ترکیب داسیت و ریولیت هستند. این سنگ‌ها در صحرا بصورت تپه‌ها و گنبدهای کم ارتفاع و در نمونه دستی به رنگ سفید و گاهی صورتی دیده می‌شوند. همچنین بافت‌های پورفیری و گلومروپورفیری در آنها مشاهده می‌شود (شکل ۳ ت). بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز به عنوان کانی اصلی و به صورت درشت‌بلور یا بصورت میکرولیت در زمینه سنگ یافت می‌شوند. کانی فرعی آپاتیت نیز به صورت سوزنی و کشیده در زمینه سنگ و گاهی بصورت میانبارهایی در برخی پلاژیوکلازها حضور دارد. از کانی-های ثانویه موجود در این سنگ‌ها می‌توان به کلسیت، سرسیت و اکسیدهای آهن اشاره کرد.

روش تجزیه

پس از بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری دقیق، ۴ نمونه از بازالت‌ها برای تجزیه نقطه‌ای به دانشگاه اسلو در کشور نروژ ارسال شدند. سپس ۲۶ نقطه از کانی کلینوپیروکسن و ۱۶ نقطه بر کانی پلاژیوکلاز انتخاب و توسط دستگاه ریزپردازشگر الکترونی مدل Cameca SX100 با ولتاژ شتاب‌دهنده ۵ کیلوولت و شدت جریان ۲۰ نانوآمپر به مدت ۳۰ ثانیه تجزیه شد (جدول‌های ۱، ۲ و ۳). در آخر تعداد کاتیون‌های موجود در فرمول ساختاری پیروکسن و پلاژیوکلاز به کمک نرم‌افزار Minpet2.02 به ترتیب بر اساس ۶ و ۸ اتم اکسیژن محاسبه شد (جدول‌های ۱، ۲ و ۳) و در تحلیل‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازش بلورهای متوسط کلینوپیروکسن در سنگ‌های بازالتی ائوسن در گردنه آهوان. فرمول ساختاری آنها براساس ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده است. برآوردهای دما و فشار تبلور به ترتیب بر اساس معادلات ارائه شده توسط پاتیرکا [۱۰] و نیمیس [۱۱] هستند. علائم اختصاری عبارتند از نزدیک =N ؛ بین مرکز و حاشیه =B.C&R؛ کانی =Min

Min	Min 1				Min 2				Min 3			
محل آنالیز	مرکز	B.C&R	حاشیه N	حاشیه	مرکز	B.C&R	حاشیه N	حاشیه	مرکز	B.C&R	حاشیه N	حاشیه
SiO_2	۵۲٫۱۷	۵۱٫۶۳	۴۸٫۶۹	۴۸٫۹۷	۵۲٫۱۵	۴۷٫۷۱	۵۱٫۲۴	۴۶٫۳۷	۴۹٫۴۳	۴۹٫۸۳	۴۵	۴۴٫۰۱
TiO_2	۰٫۴۵	۰٫۶۵	۱٫۱۵	۰٫۸۳	۰٫۵	۱٫۵	۰٫۵۳	۲٫۰۲	۰٫۹۱	۰٫۷۶	۲٫۱۱	۲٫۲۲
Al_2O_3	۳	۳٫۲۹	۶٫۳۸	۴٫۷۳	۲٫۴۹	۶٫۳۱	۲٫۹۷	۸٫۰۱	۴٫۶۳	۴٫۱۹	۸٫۱۳	۸٫۴۶
FeO	۳٫۹۴	۴٫۴	۶٫۰۶	۴٫۸۱	۴٫۴۶	۷٫۲۶	۴٫۴۸	۷٫۳۶	۶٫۳۳	۵٫۲۴	۷٫۶۶	۸٫۲
Cr_2O_3	۰٫۲۹	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۱٫۰۴	۰٫۵۶	۰٫۰۹	۰٫۳۹	۰٫۰۷	۰٫۱۲	۰٫۶۷	۰٫۱۲	۰٫۰۷
MnO	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۱
MgO	۱۶٫۵۳	۱۶٫۱۵	۱۴٫۳۳	۱۴٫۷۷	۱۶٫۵۲	۱۳٫۸۹	۱۶٫۱۸	۱۲٫۸۵	۱۴٫۷۸	۱۵٫۰۱	۱۲٫۳۵	۱۲٫۱۴
CaO	۲۳٫۶۶	۲۳٫۷۸	۲۲٫۰۵	۲۲٫۷۴	۲۳٫۰۹	۲۳٫۷۱	۲۲٫۶۸	۲۲٫۰۶	۲۳٫۰۳	۲۳٫۵۲	۲۲٫۲۳	۲۲٫۵۷
Na_2O	۰٫۲۴	۰٫۱۹	۰٫۳۴	۰٫۲۵	۰٫۱۸	۰٫۲۸	۰٫۲۶	۰٫۳	۰٫۲۵	۰٫۲۳	۰٫۲۶	۰٫۳
Total	۱۰۰٫۳۵	۱۰۰٫۳۱	۹۹٫۲۳	۹۸٫۲۱	۱۰۰٫۰۹	۱۰۰٫۸۸	۹۸٫۷۹	۹۹٫۱۷	۹۹٫۶۵	۹۹٫۵۴	۹۷٫۹۶	۹۸٫۰۷
TSi	۱٫۸۹	۱٫۸۸	۱٫۷۸	۱٫۸۱	۱٫۹۰	۱٫۷۶	۱٫۸۷	۱٫۷۱	۱٫۸۲	۱٫۸۳	۱٫۶۹	۱٫۶۶
TAl	۰٫۱۰	۰٫۱۱	۰٫۲۱	۰٫۱۸	۰٫۰۹	۰٫۲۳	۰٫۱۲	۰٫۲۸	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۳۱	۰٫۳۳
M_1Al	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۰۴
M_1Ti	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۶
M_1Fe^{3+}	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۱۲	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۱۵	۰٫۱۷
M_1Fe^{2+}	۰،۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۲
M_1Cr	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰،۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰
M_1Mg	۰٫۸۹	۰٫۸۷	۰٫۷۸	۰٫۸۱	۰٫۹	۰٫۷۶	۰٫۸۷	۰٫۷۰	۰٫۸۱	۰٫۸۲	۰٫۶۹	۰٫۶۸
M_2Fe^{2+}	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵
M_2Ca	۰٫۹۲	۰٫۹۲	۰٫۹۰	۰٫۹۴	۰٫۹۰	۰٫۹	۰٫۹۲	۰٫۹۱	۰٫۹۱	۰٫۹۳	۰٫۹۳	۰٫۹۱
M_2Na	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
$Al^{(IV)}$	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۲۰	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۲۲	۰٫۱۱	۰٫۲۷	۰٫۱۶	۰٫۱۵	۰٫۲۹	۰٫۳۱
$Al^{(VI)}$	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۸	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۸
$Al^{(total)}$	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۲۸	۰٫۲۱	۰٫۱۱	۰٫۲۸	۰٫۱۳	۰٫۳۵	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۳۶	۰٫۳۸
$Mg^{\#}$	۹۴٫۱۳	۹۳٫۱۲	۹۰٫۹۲	۹۵٫۰۹	۹۱٫۳۰	۸۸٫۶۹	۹۵٫۶۱	۸۷٫۳۰	۹۰٫۴۷	۹۲٫۲۶	۸۹٫۱۲	۸۹٫۰۶
Wo(%)	۴۹٫۲۰	۴۹٫۶۳	۵۱٫۲۴	۵۲٫۳۵	۴۷٫۸۴	۵۱٫۰۳	۵۰٫۱۴	۵۲٫۹۶	۵۰٫۳۳	۵۰٫۹۶	۵۴٫۶۴	۵۴٫۳۴
En(%)	۴۸٫۸۲	۴۶٫۹۰	۴۴٫۳۳	۴۵٫۳۱	۴۷٫۶۲	۴۳٫۴۳	۴۷٫۶۷	۴۱٫۰۶	۴۴٫۹۴	۴۵٫۲۵	۴۰٫۴۲	۴۰٫۶۷
Fs(%)	۲٫۹۸	۳٫۴۷	۴٫۴۳	۲٫۳۴	۴٫۵۴	۵٫۵۴	۲٫۱۹	۵٫۹۸	۴٫۷۳	۳٫۸۰	۴٫۹۴	۴٫۹۹
T(□ C)	۱۲۱۶	۱۲۱۰	۱۲۱۲	۱۲۰۳	۱۱۹۱	۱۲۰۲	۱۱۵۹	۱۱۶۱	۱۲۰۵	۱۱۷۵	۱۲۰۷	۱۱۷۳
P(kbar)	۰٫۶۶	۰٫۸۷	۳٫۷۱	۰٫۷۹	۱٫۱۶	۱٫۰۰	۱٫۶۱	۲٫۷۶	-۰٫۰۵	۱٫۵۰	۰٫۳۴	۲٫۵۷

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

جدول ۲ نتایج تجزیه ریزپردازش بلورهای ریز کلینوپیروکسن در سنگ‌های بازالتی ائوسن در گردنه آهوان. فرمول ساختاری آنها براساس ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده است. برآوردهای دما و فشار تبلور به ترتیب بر اساس معادلات ارائه شده توسط پاتیرکا [۱۰] و نیمیس [۱۱] هستند.

Min	Min 4	Min 5	Min 6		Min 7	Min 8	Min 9	Min 10	Min 11	Min 12	
محل آنالیز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز	مرکز
SiO_2	۴۹/۰۱	۵۱/۳۳	۵۲/۲۲	۵۱/۸۸	۴۹/۶۴	۳۴/۸۸	۴۹/۳۳	۳۶/۷۳	۴۳/۴۸	۴۹/۷	۴۵/۰۷
TiO_2	۱/۰۸	۰/۶۵	۰/۴	۰/۴	۰/۹۳	۱/۵۷	۰/۹۸	۰/۰۹	۲/۴۹	۱/۰۴	۲/۱۷
Al_2O_3	۴/۴۲	۲/۷۳	۲/۸۲	۳/۳	۴/۱۵	۱۵/۳	5	۲۱/۲۱	۹/۰۴	۴/۶	۸/۶۸
FeO	۷/۵۳	۵/۵۳	۳/۹۱	۴/۱۳	۶/۹۳	۱۵/۴۵	۵/۲۶	۸/۶۷	۸/۴۶	۶/۹۶	۸/۲۵
Cr_2O_3	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۷۹	۰/۸۷	۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۵	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۹
MnO	۰/۱۹	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۱۲
MgO	۱۴/۸۷	۱۶/۲۵	۱۶/۶۳	۱۶/۵۲	۱۵/۳۱	۷/۵۵	۱۵/۰۱	۲/۳۶	۱۱/۷۴	۱۴/۷۴	۱۲/۱۲
CaO	۲۲/۱۵	۲۲/۵۷	۲۳/۴	۲۲/۹	۲۲/۲۱	۱۵/۲	۲۲/۹۵	۲۲/۷۴	۲۲/۸۹	۲۲/۵۱	۲۲/۹۹
Na_2O	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۰۷	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۳
Total	۹۹/۴۸	۹۹/۶۲	۱۰۰/۴۵	۱۰۰/۴۵	۹۹/۶۱	۹۰/۲۴	۹۹/۴	۹۱/۹	۹۸/۵۶	۹۹/۹۹	۹۹/۷۹
TSi	۱/۸۲	۱/۸۹	۱/۹۰	۱/۸۹	۱/۸۴	۱/۴۷	۱/۸۲	۱/۵۱	۱/۶۴	۱/۸۳	۱/۶۸
TAl	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۵۳	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۳۲
M_1Al	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۲۳	۰/۰۴	۰/۵۴	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۶
M_1Ti	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۰۶
M_1Fe^{3+}	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۰۹	۰/۱۶
M_1Fe^{2+}	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
M_1Cr	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
M_1Mg	۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۴۷	۰/۸۲	۰/۱۵	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۶۷
M_2Fe^{2+}	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۶
M_2Ca	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۸	۰/۶۹	۰/۹۱	۱/۰۰	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۹۲
M_2Na	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
$Al^{(IV)}$	۰/۱۶	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱۴	۰/۵	۰/۱۶	۰/۴۹	۰/۳۳	۰/۱۵	۰/۲۹
$Al^{(VI)}$	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۲۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۶	۰/۰۵	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۸
$Al^{(total)}$	۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۷۷	۰/۲۱	۱/۰۲	۰/۴	۰/۲	۰/۳۸
$Mg^{\#}$	۸۷/۷۴	۹۰/۱۶	۴۷/۹۳	۵۲/۹۳	۴۲/۸۸	۰۱/۵۸	۸۴/۹۱	۶۸/۲۸	۹۰/۸۸	۵۹/۸۶	۸۶/۶۱
Wo(%)	۴۵/۳۳	۴۵/۵۳	۴۷/۱۵	۴۶/۵۳	۴۵/۲۸	۴۰/۰۷	۴۷/۷۹	۶۹/۲۳	۴۹/۸۵	۴۶/۳۲	۴۹/۵۶
En(%)	۴۲/۳۴	۴۵/۶۱	۴۶/۶۲	۴۶/۷۰	۴۳/۴۳	۲۷/۶۹	۴۳/۴۹	۱۰/۰۰	۳۵/۵۸	۴۲/۲۱	۳۶/۳۵
Fs(%)	۴۲/۳۴	۸/۸۷	۶/۲۳	۶/۷۷	۱۱/۲۹	۳۲/۲۵	۸/۷۲	۲۰/۷۷	۱۴/۵۷	۱۱/۴۷	۱۴/۰۹
T(□ C)	۱۱۶۶	۱۱۸۹	۱۲۱۷	۱۲۳۰	۱۱۸۳	۱۲۰۵	۱۲۰۷	۱۳۳۳	۱۱۴۶	۱۱۷۱	۱۱۵۹
P(kbar)	-۰/۲	-۰/۳	۰/۷	۲/۳	۰/۹	۱۴/۵	۲/۲	۱۶/۳	۱/۹	-۰/۳	۲/۳

ادامه جدول ۲

Min	Min 13	Min 14	Min 15
محل آنالیز	مرکز	مرکز	مرکز
SiO_2	۴۴/۳۲	۴۹/۹۵	۴۴/۸۹
TiO_2	۲/۳۵	۰/۸۸	۲/۰۳
Al_2O_3	۸/۶۵	۴/۴۶	۸/۵۴
FeO	۸/۴۴	۵/۲۱	۸/۳۷
Cr_2O_3	۰/۱	۰/۰۰	۰/۰۲
MnO	۰/۱۱	۰/۵۲	۰/۱
MgO	۱۱/۷۹	۰/۰۷	۱۲/۱۷
CaO	۲۲/۹۷	۱۵/۳	۲۳/۰۳
Na_2O	۰/۳۴	۲۳/۴۵	۰/۳۴
Total	۹۹/۰۷	۹۹/۸۴	۹۹/۴۹
TSi	۱/۶۷	۱/۸۳	۱/۶۸
TAl	۰/۳۳	۰/۱۷	۰/۳۲
M_1Al	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۵
M_1Ti	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۶
M_1Fe^{3+}	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۸
M_1Fe^{2+}	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۳
M_1Cr	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰
M_1Mg	۰/۶۶	۰/۸۴	۰/۶۸
M_2Fe^{2+}	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۵
M_2Ca	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۲
M_2Na	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
$Al^{(IV)}$	۰/۳	۰/۱۵	۰/۲۹
$Al^{(VI)}$	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۸
$Al^{(total)}$	۰/۳۸	۰/۱۹	۰/۳۸
$Mg^{\#}$	۳۱/۸۷	۹۳/۴۶	۸۸/۸۹
Wo(%)	۴۹/۸۸	۴۷/۹۹	۴۹/۴۵
En(%)	۳۵/۶۲	۴۳/۵۷	۳۶/۳۶
Fs(%)	۱۴/۵۰	۸/۴۴	۱۴/۲۰
$T(^oC)$	۱۱۴۲	۱۱۹۹	۱۱۶۶
P(kbar)	۱	۰/۹	۲/۹

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

جدول ۳ تجزیه ریزپردازش فلدسپارهای موجود در سنگ‌های آتشفشانی گردنه آهوان به همراه محاسبه کاتیون‌ها براساس ۸ اتم اکسیژن.

Sample	آندزیت تراکی								بازالت						تراکیت	
SiO_2	۶۸٫۱۰	۶۸٫۳۶	۹۸٫۵۱	۶۷٫۳۰	۶۷٫۱۵	۶۷٫۷۵	۶۸٫۱۱	۶۸٫۲۴	۶۷٫۰۱	۶۰٫۵۳	۵۷٫۸	۶۵٫۷	۶۶٫۳۰	۶۳٫۳۷	۶۹٫۰۳	۶۳٫۶۸
TiO_2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۳۲	۰٫۲۱	۰٫۵۸	۰٫۷۳	۰٫۳۶	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Al_2O_3	۱۹٫۷۳	۱۹٫۵۲	۰٫۶۷	۱۹٫۶۳	۱۹٫۷۵	۱۹٫۷۳	۱۹٫۶۵	۱۹٫۷۴	۲۰٫۳۲	۱۹٫۰۳	۱۸٫۴	۲۰٫۷	۲۰٫۵۵	۱۸٫۴۶	۱۹٫۷۲	۱۸٫۱۹
FeO	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۴۲	۰٫۰۵	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰٫۵۱	۰٫۹۶	۳٫۰۷	۰٫۷۱	۰٫۶۶	۰٫۱۱	۰٫۰۱	۰٫۰۶
MnO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۶۳	۱٫۹۲	۰٫۳۷	۰٫۳۶	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
CaO	۰٫۲۵	۰٫۱۷	۰٫۰۴	۰٫۳۵	۰٫۱۶	۰٫۳۸	۰٫۱۱	۰٫۲۳	۰٫۸۹	۰٫۳۰	۰٫۷۹	۱٫۵۹	۱٫۱۴	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰
Na_2O	۱۱٫۶۷	۱۱٫۷۵	۰٫۰۵	۱۱٫۶۶	۱۱٫۱۷	۱۱٫۶۷	۱۱٫۶۳	۱۱٫۷۹	۱۱٫۲۳	۰٫۵۴	۰٫۵۲	۱۰٫۶۳	۱۰٫۸۸	۰٫۴۷	۱۱٫۶۵	۰٫۲۳
K_2O	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۴۵	۰٫۰۵	۰٫۲۹	۰٫۰۴	۰٫۱۷	۱۴٫۸۲	۱۳٫۱	۰٫۴۲	۰٫۲۰	۱۵٫۶۴	۰٫۰۶	۱۹٫۲۷
Total	۹۹٫۷۹	۹۹٫۸۲	۹۹٫۷۱	۹۹٫۱۰	۹۸٫۷۷	۹۹٫۶۳	۹۹٫۹۰	۱۰۰٫۰۶	۱۰۰٫۴۵	۹۶٫۳۹	۹۴٫۳	۱۰۰	۹۹٫۸۲	۹۸٫۷	۱۰۰٫۵	۹۸٫۴۰
Si	۱۱٫۹۳	۱۱٫۹۷	۱۵٫۸۷	۱۱٫۸۹	۱۱٫۹۰	۱۱٫۹۰	۱۱٫۹۳	۱۱٫۹۳	۱۱٫۷۱	۱۱٫۵۹	۱۱٫۲۶	۱۱٫۵	۱۱٫۶۲	۱۱٫۹	۱۱٫۹۹	۱۱٫۹۸
Al	۴٫۰۷	۴٫۰۲	۰٫۱۳	۴٫۰۹	۴٫۱۲	۴٫۰۸	۴٫۰۶	۴٫۰۶	۴٫۱۸	۴٫۲۹	۴٫۲۳	۴٫۲۸	۴٫۲۶	۴٫۰۹	۴٫۰۳	۴٫۰۳
Ti	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Fe2	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۱۵	۰٫۵۰	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۱
Mn	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Mg	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۱۸	۰٫۵۶	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Ca	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۷	۰٫۰۲	۰٫۰۴	۰٫۱۷	۰٫۰۶	۰٫۱۶	۰٫۳۰	۰٫۲۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Na	۳٫۹۶	۳٫۹۹	۰٫۰۲	۴٫۰۰	۳٫۸۴	۳٫۹۸	۳٫۹۵	۴٫۰۰	۳٫۸۱	۰٫۲۰	۰٫۲۰	۳٫۶۱	۳٫۷۱	۰٫۱۷	۳٫۹۲	۰٫۰۸
K	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۱۰	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۳٫۶۲	۳٫۲۶	۰٫۰۹	۰٫۰۵	۳٫۷۶	۰٫۰۱	۳٫۹۰
Cations	۲۰٫۰۲	۲۰٫۰۲	۱۶٫۰۸	۲۰٫۰۷	۲۰٫۰۱	۲۰٫۰۵	۲۰٫۰۴	۲۰٫۰۴	۲۰٫۰۷	۲۰٫۱۳	۲۰٫۲۶	۲۰٫۱	۲۰٫۱	۱۹٫۹۸	۱۹٫۹۶	۱۹٫۹۹
Ab%	۹۸٫۷۰	۹۹	۶۳	۹۷٫۸۰	۹۶٫۷۰	۹۸	۹۷٫۹۰	۹۸٫۷۰	۹۴٫۹۰	۵٫۲۰	۵٫۴۰	۹۰٫۲	۹۳٫۴	۴٫۴۰	۹۹٫۶۰	۲٫۱۰
An%	۱٫۱۰	۰٫۸۰	۲۲٫۲۰	۱٫۶۰	۰٫۸۰	۱٫۸۰	۰٫۵۰	۱٫۱۰	۴٫۲۰	۱٫۶۰	۴٫۵۰	۷٫۵۰	۵٫۴۰	۰٫۱۰	۰٫۱۰	۰٫۰۰
Or%	۰٫۲۰	۰٫۲۰	۱۴٫۸۰	۰٫۶۰	۲٫۶۰	۰٫۳۰	۱٫۶۰	۰٫۲۰	۰٫۹۰	۹۳٫۳۰	۹۰	۲٫۳۰	۱٫۲۰	۹۵٫۷	۰٫۳۰	۹۸٫۲۰

شیمی کانی

پیروکسن

کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های گردنه آهوان به صورت متوسط‌بلور و ریزبلور دیده می‌شوند. بلورهای متوسط، فرصت بیشتری برای رشد در عمق زیاد و بلورهای ریز که زمینه سنگ را تشکیل می‌دهند، زمان کمتری برای رشد داشته‌اند [۱۲]. بر پایه نتایج تجزیه ریزپردازش انجام‌شده در این پژوهش، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی از SiO_2 (۴۳٫۴۸-۵۲٫۲۲)، Al_2O_3 (۹٫۰۴-۲٫۲۱)، FeO (۸٫۶۷-۳٫۹۱)، TiO_2(۲٫۴۹-۰٫۶۵)، MgO (۱۶٫۶۳-۷٫۵۵)، CaO (۲۳٫۷۸-۱۵٫۲) و مقادیر کمتری MnO (۰٫۲۲-۰٫۰۷)، Na_2O (۰٫۳۴-۰٫۰۷) و Cr_2O_3 (۱٫۰۴-۰) تشکیل شده است. پیروکسن از خانواده سیلیکات‌های تک زنجیره‌ای با فرمول عمومی $M_1 M_2T_2O_6$ است که در جایگاه T کاتیون‌هایی چون Si^{4+} و Al^{3+} و به مقدار کمتر Fe^{3+} قرار می‌گیرند. در جایگاه M_2، Al^{3+} و مازاد آهن سه ظرفیتی مصرف‌شده در جایگاه T و نیز کاتیون‌هایی مانند Fe^{2+}، Mg^{2+}، Zr^{2+}، Mn^{2+} و گاهی Ti^{4+}، Cr^{3+}، V^{3+} ، Ti^{3+}،Sc^{3+} و Zr^{4+} جایگزین می‌شوند. جایگاه M_1 را عناصری چون Mg^{2+}، Fe^{2+}، Mn^{2+} ، Li^{1+}،Ca^{2+} و Na^{1+} اشغال می‌کنند که مجموع آنها در حدود یک است.

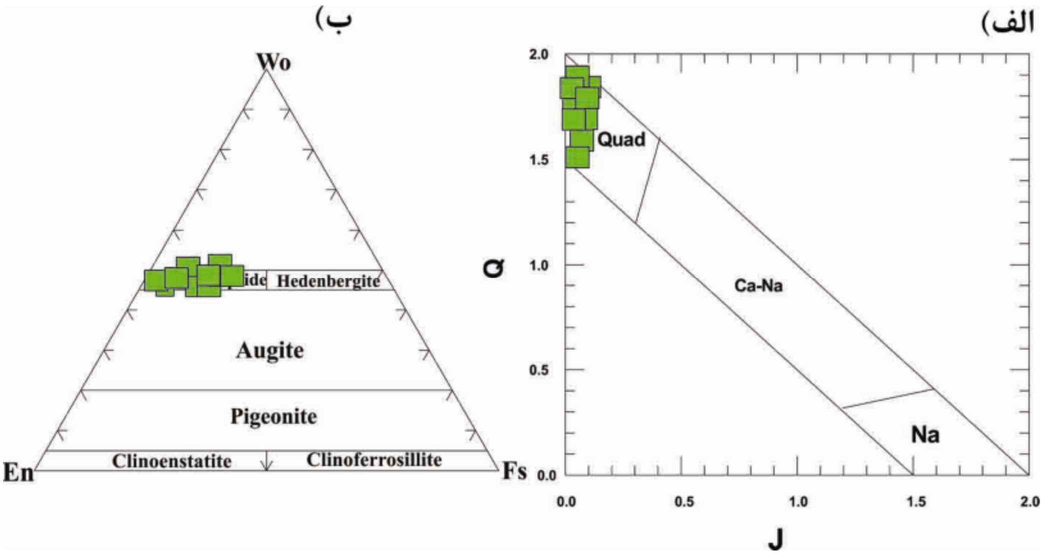
پیروکسن‌ها را با توجه به قرارگیری کاتیون‌ها در جایگاه‌های M_1 و M_2، می‌توان به چهار گروه کلی تقسیم کرد [۱۳]: (۱) پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe (Quad)، (۲) پیروکسن‌های Ca-Na، (۳) پیروکسن‌های Na و (۴) دیگر پیروکسن‌ها (شکل ۴ الف). در شکل ۴، پیروکسن‌های گردنه آهوان در گستره کلینوپیروکسن‌های آهن- منیزیم-کلسیم‌دار (Quad) قرار گرفته‌اند. برای رده‌بندی دقیق‌تر این کلینوپیروکسن‌ها، از نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs استفاده شد [۱۳] (شکل ۴ ب). چنان که دیده می‌شود، بیشتر نمونه‌ها دارای ترکیب دیوپسید هستند.

بررسی تغییرات ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها

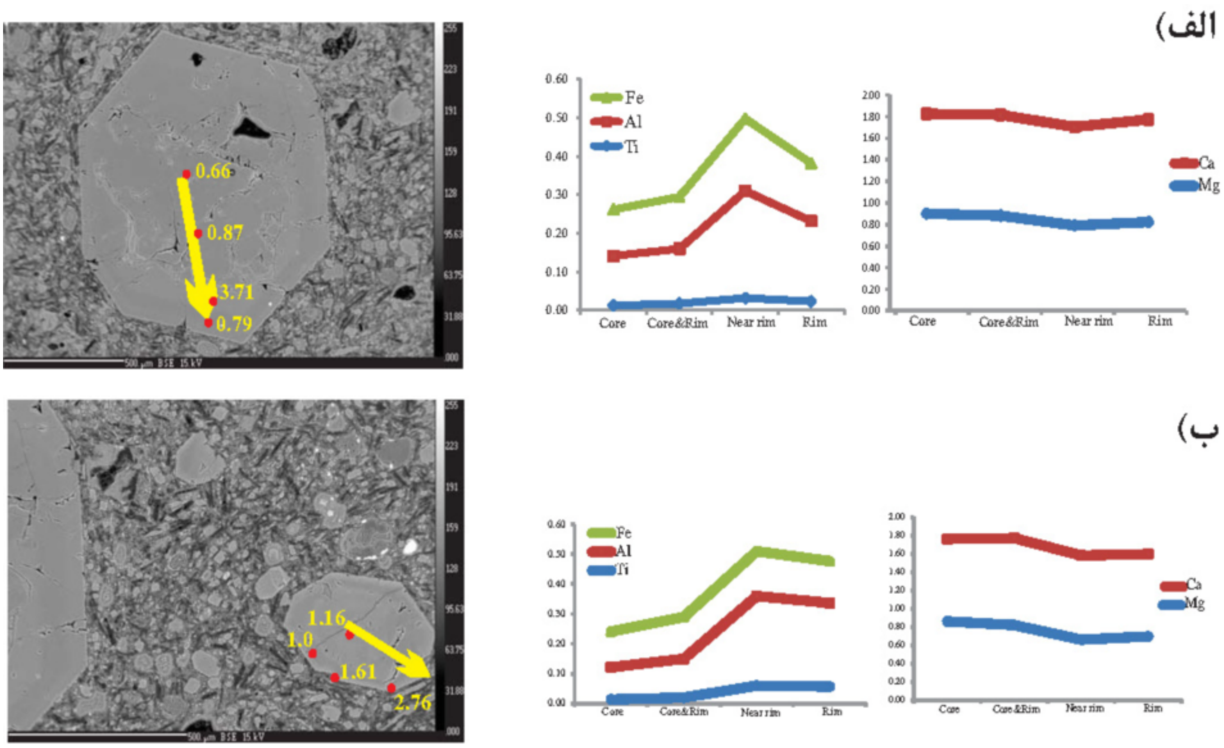
بررسی تغییرات ترکیب بلورهای کلینوپیروکسن با اندازه متوسط سنگ‌های بازالتی گردنه آهوان نشان می‌دهد که زون بینابین مرکز و حاشیه پیروکسن‌ها از Fe، Al و Ti تهی شده، در حالیکه از Mg، Ca و Si غنی شده است (شکل‌های ۵ الف و ب). این الگوی توزیع عناصر با تزریق گامه‌های ماگمایی و حرکت همرفتی ماگما در مخزن ماگمایی قابل تفسیر است. همچنین، منطقه‌بندی موجود در این درشت‌بلورها از نوع معکوس است (شکل‌های ۵ الف و ب). بنابر نظر دییر و همکاران [۱۴] زون‌های غنی از Mg از یک ماگمای گوشته‌ای اولیه و در

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

دمای بالا تبلور یافته‌اند، در حالیکه حاشیه‌های غنی از Fe در مرحله پس از یک ماگمای تفریق‌یافته‌تر تشکیل می‌شوند. این اختلاف عناصر در مرکز و حاشیه کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های بازالتی گردنه آهوان زیاد نبوده و نشان‌دهنده تبلور آنها در یک مخزن ماگمایی و از گامه‌های ماگمایی با خاستگاه مشترک است.



شکل ۴ الف) رده‌بندی کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های شمال‌شرق سمنان با استفاده از نمودار Q-J [۱۳]. ب) نمایش ترکیب کلینوپیروکسن‌های شمال‌شرق سمنان با استفاده از نمودار En-Fs-Wo [۱۳]. چنان که دیده می‌شود کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره دیوپسید قرار می‌گیرند.



شکل ۵ تغییرات ترکیبی عناصر Ti Al ,Fe ,Ca Mg در بلورهای کلینوپیروکسن با اندازه متوسط در بازالت‌های گردنه آهوان. براساس این نمودارها، روند عناصر نام برده در هر دو اندازه کلینوپیروکسن‌ها، وجود منطقه‌بندی نوسانی در آنها را تأیید می‌کند. اعداد روی تصاویر سمت چپ مقدار فشار محاسبه‌شده بر حسب کیلوبار را نشان می‌دهند.

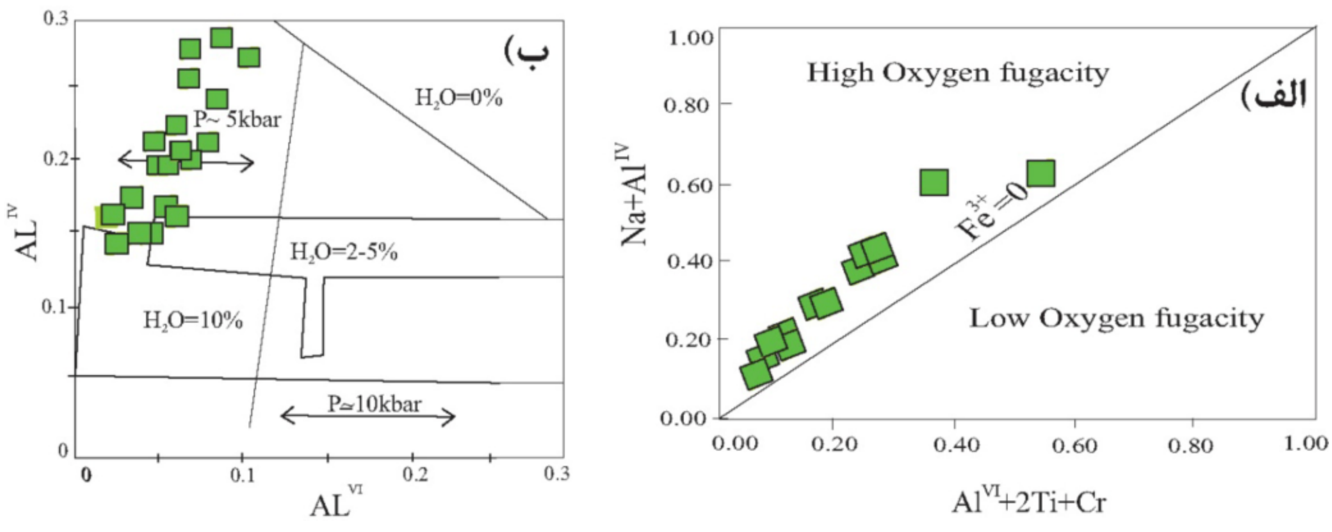
[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

گریزندگی اکسیژن

از آنجا که گریزندگی اکسیژن در کنترل فرایندهای ماگمایی و توالی تبلور و نوع کانی‌های تبلور یافته از ماگما نقش مؤثری دارد [۱۵-۱۸]، لازم است اثر آن نیز در تشکیل پیروکسن‌ها بررسی شود. برای تعیین فوگاسیته اکسیژن از نمودار Al^{VI}+2Ti+Cr نسبت به $Na+Al^{IV}$ [۱۹] استفاده شده است (شکل ۶ الف). این نمودار بر پایه موازنه Al موجود در جایگاه چهاروجهی و Al و Cr موجود در جایگاه هشت‌وجهی است. عنصر Fe در ترکیب پیروکسن‌ها می‌تواند جانشین عناصر سه ظرفیتی مانند Al، Cr وTi در جایگاه‌های هشت‌وجهی شود. هرچه میزان Fe^{3+} بیشتر باشد امکان ورود آن به جایگاه هشت وجهی سیستم بیشتر است. بنابراین، نمونه‌هایی که بالای خط $Fe^{3+}=0$ در نمودار Al^{VI}+2Ti+Cr نسبت به $Na+Al^{IV}$ قرار می‌گیرند، پیروکسن‌هایی هستند که در محیطی با گریزندگی اکسیژن بالا متبلور شده‌اند و نمونه‌هایی که در پایین این خط قرار می‌گیرند در گریزندگی اکسیژن کمتری تشکیل شده‌اند. چنانکه در شکل ۶ الف نشان داده شده است، تمرکز نمونه‌های مورد بررسی در بالای خط یادشده، گویای تبلور آنها در محیطی با گریزندگی اکسیژن بالاست (شکل ۶ الف).

دما- فشارسنجی

در بررسی سنگ‌های آذرین، به منظور ارزیابی دما و فشار تبلور کانی‌ها از معادله‌های زمین دما- فشارسنجی استفاده می‌شود. در گذشته جهت برآورد دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها از نمودارهای ترسیمی سه‌تایی لیندسلی [۲۰] استفاده می‌شد که از دقت کافی برخوردار نبود. امروزه، برآورد دما و فشار با ارائه روابط ریاضی دمافشارسنجی انجام می‌شود که از دقت بالاتری برخوردارند. این روابط که به دو دسته کلی معادلات زمین-دماسنجی و زمین فشارسنجی تقسیم می‌شوند، توابعی از فشار، دما یا هر دو هستند که در نمودار دما- فشار بصورت یک خط راست یا منحنی قابل رسم هستند. پیروکسن به عنوان یک کانی ردیاب تعیین‌کننده شرایط فیزیکی (دما و فشار) ماگما در زمان تبلور آن است. بعضی از روش‌های دما-فشارسنجی در مورد کانی پیروکسن، بر پایه تعادل میان دو پیروکسن (ارتوپیروکسن-کلینوپیروکسن) هستند. این موضوع سبب محدودیت‌هایی در بکارگیری آنها می‌شود. در نمونه‌های بازالتی گردنه آهوان، کانی ارتوپیروکسن دیده نشده است. لذا به منظور بررسی‌های دما-فشارسنجی این نمونه‌ها، از دماسنج و فشارسنج‌های برپایه تک کانی کلینوپیروکسن استفاده شد. در ادامه نتایج برآورد دما و فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های بازالتی گردنه آهوان با استفاده از روش‌های مختلف دما-فشارسنجی بیان می‌شود.



شکل ۶ برآورد شرایط تبلور بازالت‌های گردنه آهوان برپایه ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها. الف) نمودار تغییرات Al^{VI}+2Ti+Cr نسبت به $Na+Al^{IV}$ [۱۹] برای تعیین میزان گریزندگی اکسیژن در نمونه‌های مورد بررسی. ب) نمودار تغییرات Al^{IV} نسبت به Al^{VI} [۲۲] برای تعیین فشار محیط تشکیل سنگ. باتوجه به این نمودارها، کلینوپیروکسن‌ها از یک ماگمای تقریباً بی آب، در گستره فشار ۴-۱ کیلوبار و در محیطی با گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند.

به اعتقاد لوباس [۲۱] نسبت Al^{IV} به Al^{VI} در پیروکسن‌ها را می‌توان برای تعیین فشار محیط تشکیل سنگ بکار گرفت. هلز [۲۲] نیز تأثیر همزمان دو عامل مقدار آب و فشار حاکم در اعماق مختلف را در نظر گرفته و معتقد است که توزیع آلومینیم در جایگاه‌های چهاروجهی و هشت‌وجهی در کلینوپیروکسن‌ها، معیار مناسبی برای برآورد مقدار آب ماگمای سازنده و فشار محیط تشکیل سنگ‌های آذرین پیروکسن‌دار است. چنانکه در شکل ۶ ب دیده می‌شود، کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های گردنه آهوان از یک ماگمای بازالتی با مقدار آب بین ۲ تا ۵ درصد و در گستره فشارکمتر از ۱ تا ۴ کیلوبار متبلور شده‌اند.

نیمیس [۱۱] معادله زیر را برای فشارسنجی کلینوپیروکسن‌ها در مذاب‌های بی‌آب از مقادیر V_{Cell} و V_{M1} ارائه کرد که بر پایه واحدهای سلولی ساختمان کلینوپیروکسن بدست آمده است.

(۱)

$$P(kbar) = 698.443+4.985*Al^{IV} - 26.826*Fe^{2+}_{M1} - 3.764*Fe^{3+}+53.989*Al^{VI}+3.948*Ti+14.651*Cr -700.431*Ca-666.629*Na-682.848*Mg_{M2}-691.138*Fe^{2+}_{M2}-688.384*Mn-6.267*(Mg_{M2})^2-4.144*(Fe^{2+}_{M2})$$

براساس این روش، فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی از ۰/۳ الی ۳/۷ کیلوبار تغییر می‌کند (جدول‌های ۱ و ۲). استفاده از شاخص‌های XPT و YPT: به عنوان یکی از روش‌های برآورد دما و فشار براساس پیروکسن‌های موجود در گدازه‌های بازالتی پیشنهاد شده است [۲۳]. در این روش که دما و فشار به صورت ترسیمی نمایش داده می‌شوند، محورهای X و Y براساس دو شاخص XPT و YPT تعریف می‌شوند (شکل ۷). محاسبه شاخص‌های XPT و YPT به منظور تعیین موقعیت نقاط تجزیه روی نمودار، با استفاده از معادله زیر امکان پذیر است:

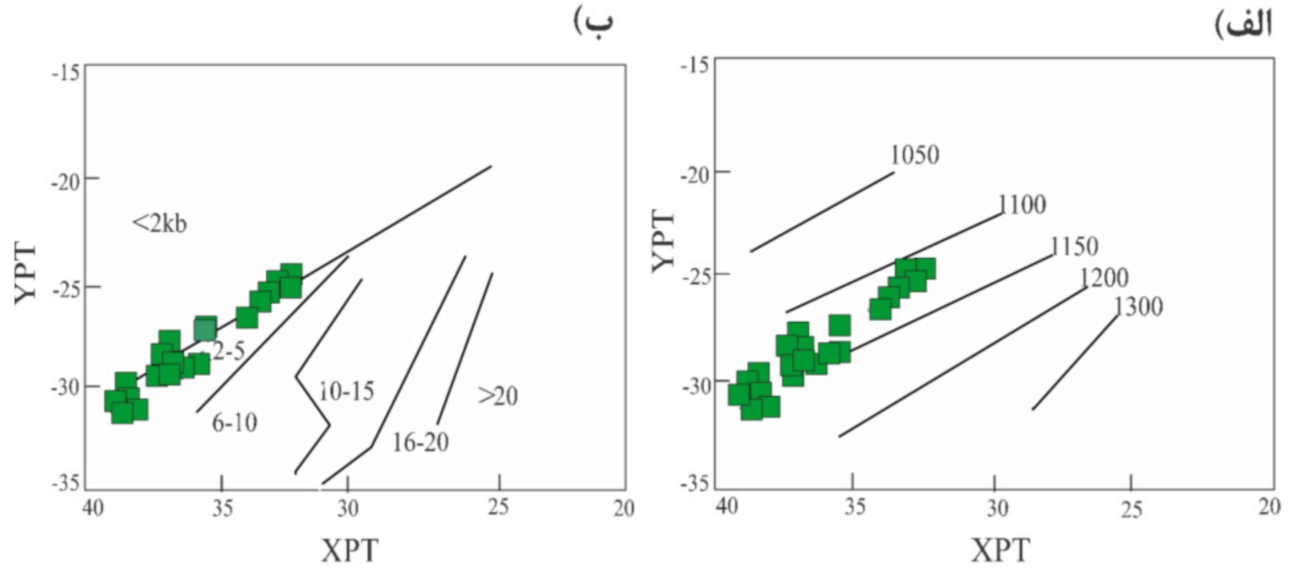
(۲)

$$XPT= 0.446 \times SiO_2 + 0.187\times TiO_2 - 0.404 \times Al_2O_3 + 0.346\times FeO^{(tot)} - 0.052\times MnO + 0.309 \times MgO+ 0.431\ CaO - 0.446\ Na_2O$$

$$YPT= - 0.369\times SiO_2 + 0.535\times TiO_2 - 0.317\times Al_2O_3 + 0.323\times FeO^{(tot)} + 0.235\times MnO - 0.516\times MgO\ 0.167\times CaO - 0.153\times Na_2O$$

با استفاده از مقادیر XPT وXYT محاسبه‌شده توسط معادله (۲)، میزان فشار تبلور کلینوپیروکسن در بازالت‌های گردنه آهوان در گستره کمتر از ۲ تا ۵ کیلوبار و دمای تشکیل آن‌ها ۱۱۷۰-۱۱۱۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد (شکل ۷).

الف) ب)



شکل ۷ تعیین دما (الف) و فشار (ب) تبلور کلینوپیروکسن با استفاده از روش ارائه شده در مرجع [۲۳]. طبق این نمودار، کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره دمایی ۱۱۷۰-۱۱۱۰ درجه سانتیگراد و در گستره فشار کمتر از ۲ تا ۵کیلوبار متبلور شده‌اند.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

براساس میزان فعالیت انستاتیت در کلینوپیروکسن و نیز توزیع آلومینیوم بین کلینوپیروکسن–مذاب، می‌توان دما و فشار تبلور کلینوپیروکسن را با توجه به معادله زیر محاسبه کرد [۱۰]:

(۳)

$$T(K) = 93100 + 544P(kbar)/61.1 + 36.6(X_{Ti}^{cpx}) + 10.9(X_{Fe}^{cpx}) - 0.95(X_{Al}^{cpx} + X_{Cr}^{cpx} - X_{Na}^{cpx} - X_{k}^{cpx}) + 0.395\,[\ln(X_{En}^{cpx})]^2$$

در این معادله :

$$X_{Al}^{cpx} = X_{Al(IV)}^{cpx} + X_{Al(VI)}^{cpx}$$

$$a_{En}^{cpx} = (1 - X_{Ca}^{cpx} - X_{Na}^{cpx} - X_{k}^{cpx}) * (1 - 0.5(X_{Al}^{cpx} + X_{Cr}^{cpx} + X_{Na}^{cpx} + X_{k}^{cpx}))$$

با استفاده از این معادله، دمای تشکیل تک کلینوپیروکسن، بدون دخالت ترکیب مذاب تعیین می‌شود. دمای تبلور کلینوپیروکسن‌های منطقه بنابر معادله (۳) برابر با ۱۲۳۰-۱۱۴۰درجه سانتی‌گراد محاسبه شد.

برپایه فشارهای محاسبه شده‌ای که در بالا برای تبلور کلینوپیروکسن‌های گردنه آهوان ارائه شد و همچنین نتایج تجزیه سنگ کل که توسط اعتمادی [۱] و محسنی [۲] برای بازالت‌ها انجام شده است، می‌توان دمای اشباعی ماگمای مادر این کلینوپیروکسن‌ها را به کمک معادله زیر محاسبه کرد [۱۰]. این معادله دمای شروع تبلور کلینوپیروکسن در ماگما را نشان می‌دهد.

$$T(K) = 10^4 / 6.39 + 0.076(H_2O^{liq}) - 5.55(X_{CaO}^{liq} X_{SiO_2}^{liq}) - 0.398Ln(X_{MgO}^{liq}) - 0.046\,p(kbar) + 2.2^{*}10^{-4}[p(kbar)]^2 \quad (۴)$$

کاربرد معادله ۴ برای کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های بازالتی گردنه آهوان نشان داد که دمای ماگمای مادر هنگام هسته‌بندی این کانی، احتمالاً ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

بررسی دما و فشار تشکیل بلورهای کلینوپیروکسن متوسط براساس منطقه‌بندی آنها از مرکز به حاشیه نشان می‌دهد که دما و فشار تبلور این کانی در بازالت‌های گردنه آهوان از هسته به سمت کناره بلور روند افزایش و کاهش منظمی را نشان نمی‌دهد (جدول ۱). از طرف دیگر، مرکزهای این درشت‌بلورها فشار حدود ۱ کیلوبار (معادل عمق ۳ کیلومتر) و زون‌های حاشیه یا نزدیک به حاشیه آنها فشار حدود ۲/۷ کیلوبار (معادل عمق ۸ کیلومتر) را نشان می‌دهند. شاید گمان شود که مرکز این بلورها در مخزن ماگمایی کم عمق متبلور شده‌اند و حاشیه آنها طی تهنشینی و جدایش ثقلی تشکیل شده است. این موضوع بنا به چند دلیل بعید به نظر می‌رسد که عبارتند از: (۱) اگرچه افزایش فشار باعث افزایش مقدار آهن و کاهش مقدار آلومینیوم موجود در ساختار پیروکسن‌ها می‌شود [۲۴]، چنان که در شکل ۵ دیده می‌شود، علاوه بر آهن، مقدار آلومینیوم نیز در نزدیک حاشیه بلورها افزایش یافته است. از این رو به نظر می‌رسد که فشار بخار آب باعث ایجاد منطقه‌بندی معکوس در تعدادی از پیروکسن‌ها شده است. (۲) وزن مخصوص ماگماهای بازالتی $g.cm^{-3}$ ۳-۲/۸ و دیوپسیدها $g.cm^{3}$ ۳/۴ است. به نظر می‌رسد که این تفاوت وزن مخصوص نمی‌تواند باعث ته‌نشینی دیوپسیدها از عمق ۳ کیلومتری به عمق ۸ کیلومتری شود. (۳) اندازه دیوپسیدهای موجود در سنگ‌های بازالتی بین ۰/۴۱ تا ۱/۲۵ متغیر است و سرعت رشد بلورهای کلینوپیروکسن ($۱۰^{-۵}\,mms^{-1}$) است. با توجه به رابطه Ci= Gt که Ci میانگین طول مجموع بلورها، G آهنگ رشد بلور و t مدت زمان رشد یا اقامت بلور در مخزن ماگمایی است [۲۵]، مدت زمان اقامت این دیوپسیدها در مخزن ماگمایی ۳×۱۰^{۴} ثانیه است. بنابراین غیر ممکن به نظر می‌رسد که طی این مدت زمان، بلورهای پیروکسن توانسته باشند از عمق ۳ کیلومتری به عمق ۸ کیلومتری برسند.

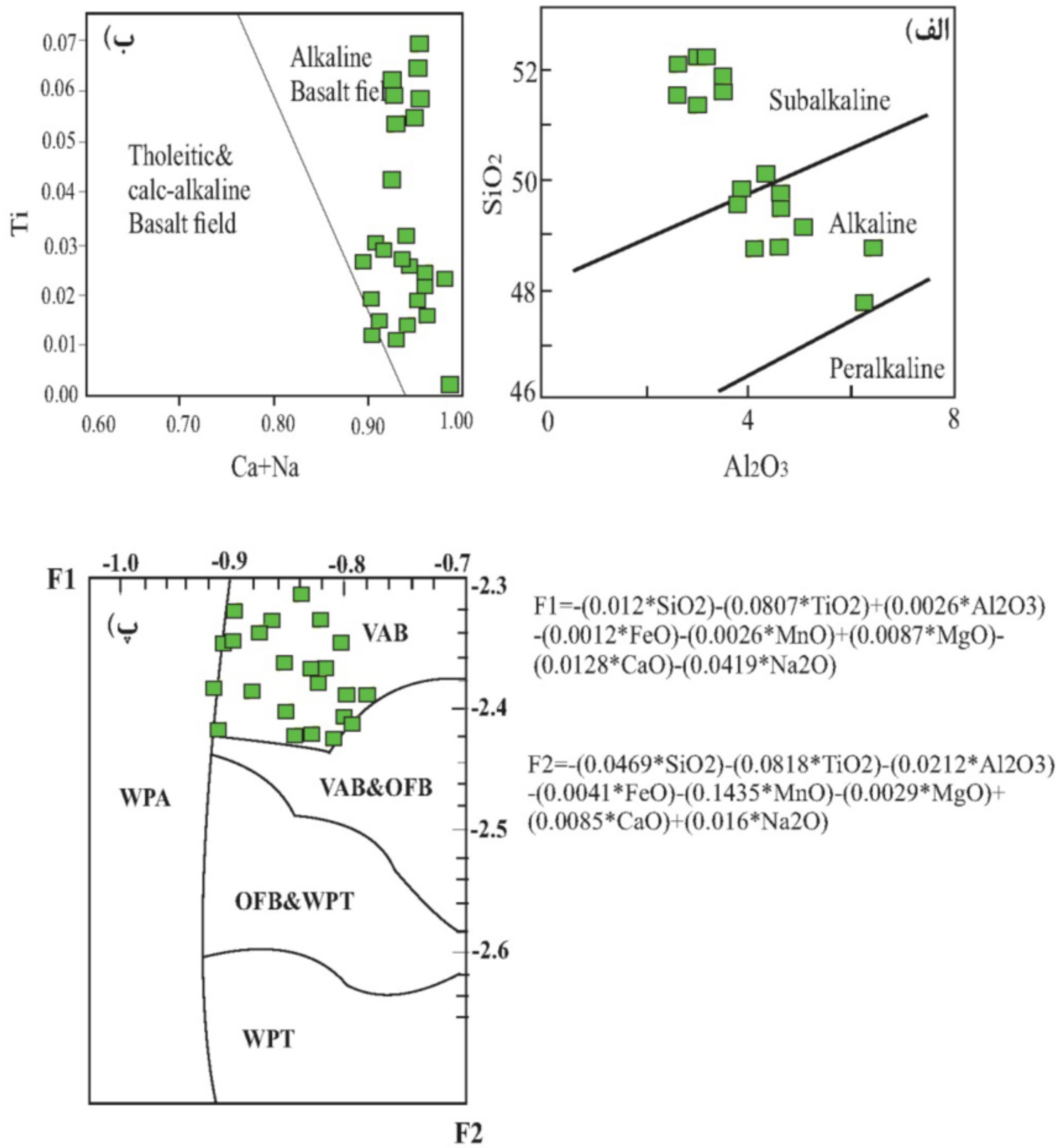
با در نظر گرفتن موارد یادشده به نظر می‌رسد که منطقه-بندی نوسانی دیوپسیدها و تغییر ترکیب شیمیایی (و در نتیجه فشار محاسبه‌شده) ناشی از افزایش مقدار آب ماگما بوده است. از طرف دیگر، برآوردهای فشار برای بلورهای کوچک نشان-دهنده تبلور آنها در قسمت‌های کم‌عمق مخزن ماگمایی اتفاق افتاد و دلیل متفاوتی دارد (جدول ۲). این بلورها یا فاقد منطقه‌بندی هستند یا زون‌های مختلف آنها فشارهای تشکیل یکسان نشان می‌دهند. بنابراین به نظر می‌رسد که پس از تبلور در آن مخزن، با تزریق گامه ماگمایی جدید، به سطح زمین فوران نموده‌اند.

سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی

ترکیب کلینوپیروکسن‌ها به ترکیب شیمیایی و محیط تشکیل گدازه‌های میزبان وابسته است، به همین دلیل این کانی کاربرد گسترده‌ای برای تشخیص محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌ها دارد. مشارکت عناصر Al، Ti، Ca، Si و Na در شبکه کلینوپیروکسن‌ها تا حد زیادی به میزان قلیائیت ماگمای مادر

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

بستگی دارد [۲۱، ۲۶]. برای تعیین محیط زمین‌ساختی تشکیل پیروکسن‌ها از نمودارهای SiO_2 در مقابل Al_2O_3 [۲۱] و Ti نسبت به Ca+Na [۲۶] استفاده شد (شکل ۸). با توجه به شکل ۸ الف ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره گسترده‌ای از قلیایی تا نیمه قلیایی تغییر می‌کند. همچنین، نمونه‌های مورد بررسی از عنصر Ca غنی هستند و در نمودار Ti نسبت به Ca+Na در گستره قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۸ ب). براساس نمودار F_1 و F_2 [۲۷] نیز، محیط زمین‌ساختی تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی، یک کمان آتشفشانی پیشنهاد می‌شود (شکل ۸ پ). ماهیت قلیایی تا نیمه‌قلیایی، مقدار اندک Ti (۰/۰۷۱-۰/۰۰۳) و غنی‌شدگی از عنصر Ca (۰/۹۸-۰/۸۸) و Si (۱/۹۰-۱/۴۷) در ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی از ویژگی پیروکسن‌های موجود در سنگ‌های بازالتی کمان‌های آتشفشانی است [۲۸] که با قرار گرفتن نمونه‌ها در گستره بازالت‌های کمان ماگمایی (VAB) در نمودار F_1 و F_2 (گرفته از مرجع [۲۷]) نیز سازگار است (شکل ۸ پ؛ جدول‌های ۱ و ۲).



شکل ۸ الف) تعیین سری ماگمایی با استفاده از نمودار تغییرات Al_2O_3-SiO_2 [۲۱]. ب) نمودار تغییرات Ti-Ca+Na [۲۵]. پ) نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی [۲۶] . براساس این نمودارها، پیروکسن‌های مورد بررسی از یک ماگمای آهکی-قلیایی و در محیط کمان آتشفشانی متبلور

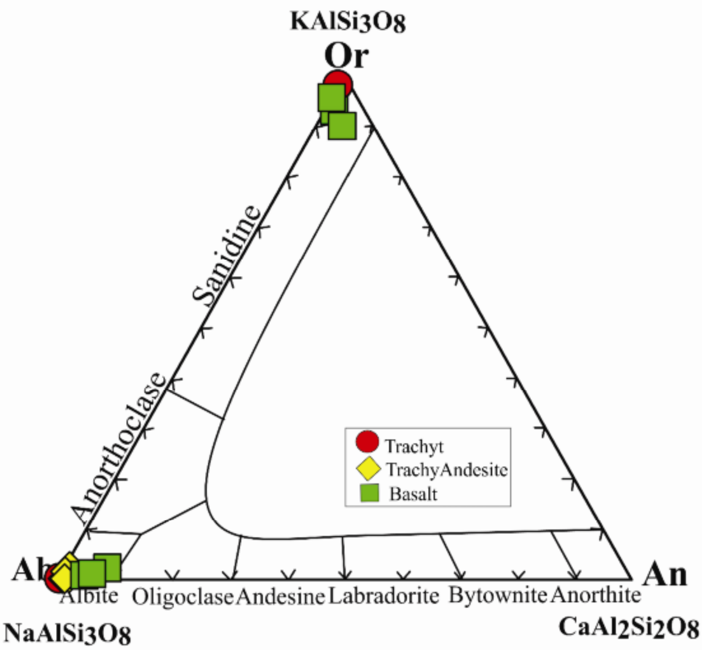
شده‌اند.

فلدسپار

فلدسپارها بدون تردید فراوان‌ترین و گسترده‌ترین گروه کانی‌های موجود در پوسته زمین و سنگ‌های آذرین هستند و از نظر شکل و خواص فیزیکی رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند. *از نظر* ساختاری، فلدسپارها در گروه آلومینوسیلیکات‌های داربستی قرار دارند که بر پایه یک شبکه پیوسته سه‌بعدی با آرایش چهاروجهی سیلیسیم و آلومینیوم استوارند. فلدسپارها مانند دیگر کانی‌ها به ندرت به صورت قطب‌های نهایی خالص یا بلورهای همگن از نظر شیمیایی حضور دارند [۲۹]. این کانی‌ها را می‌توان به دو گروه عمده فلدسپارپتاسیم و پلاژیوکلاز تقسیم کرد. پلاژیوکلازها از آلبیت با فرمول $NaAlSi_3O_8$ تا آنورتیت با فرمول $CaAl_2Si_2O_8$ در تغییر هستند. این کانی‌ها یک سری همریخت کامل را تشکیل می‌دهند. بلورهای آنها مختلط بوده و یا محلول جامد پیوسته‌ای را بین دو قطب سدیم‌دار (آلبیت) و قطب کلسیم‌دار (آنورتیت) تشکیل می‌دهند. پلاژیوکلازها به عنوان کانی‌های سنگ‌ساز، نسبت به فلدسپار پتاسیم توزیع گسترده‌تری داشته و فراوان‌تر هستند [۳۰].

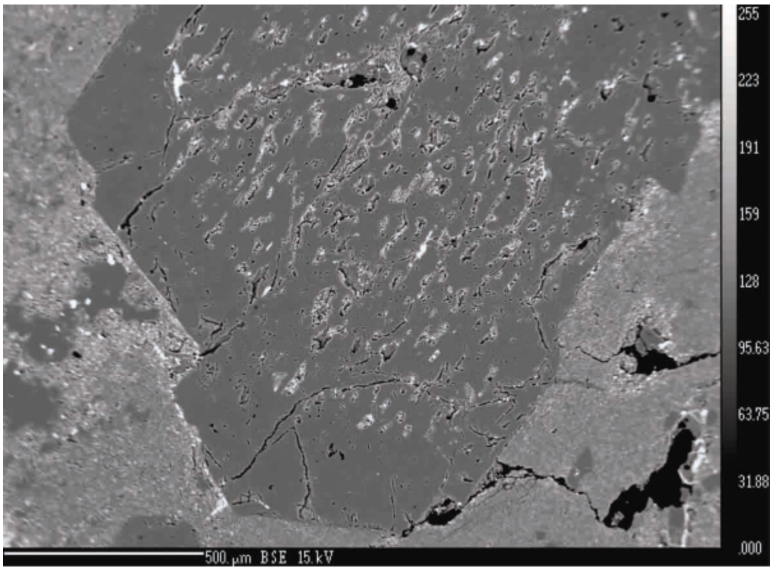
نمودار سه‌تایی An-Ab-Or [۳۱] برای فلدسپارهای مورد بررسی نشان می‌دهد که ترکیب فلدسپارهای موجود در نمونه‌های بازالتی و تراکیتی در گستره آلبیت و ارتوز قرار دارند و فلدسپارهای موجود در سنگ‌های آندزیتی ترکیب آلبیتی دارند (شکل ۹). چنان که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی دیده می‌شود، پلاژیوکلازهای منطقه مورد بررسی فاقد منطقه‌بندی هستند و ترکیب آلبیتی دارند (جدول ۳ و شکل ۱۰).

واحدهای سنگی شمال‌شرق سمنان دچار دگرسانی و متاسوماتیسم شدید شده‌اند. از نشانه‌های این متاسوماتیسم می‌توان به اسکارن‌زایی و تشکیل معدن آهن زرتول، معدن کائولن بیدستان و پهنه‌های دگرسانی سوسوریتی در منطقه اشاره کرد. بنابراین به نظر می‌رسد که سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی منطقه گردنه آهوان در امتداد پهنه‌های گسلی تحت تأثیر محلول‌های متاسوماتیسم (احتمالاً سدیمی-پتاسیمی) قرار گرفته‌اند. نفوذ این محلول‌ها باعث جانشینی سدیم بجای کلسیم موجود در ترکیب پلاژیوکلازها شده و بیشتر آنها را به آلبیت تبدیل نموده است. همچنین این طی دگرسانی کانی‌های پیروکسن توسط اکتینولیت و سرپانتین جایگزین شده‌اند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که منطقه در اثر عملکرد دو گسل عطاری و سمنان به شدت خرد شده است که ورود سیال‌های متاسوماتیسم کننده به درون سنگ‌های آذرین را تسهیل نموده و سبب متاسوماتیسم گسترده شده است. شواهد این دگرنهادی در سنگ‌های گابرویی منطقه واضح‌تر بوده و به صورت رگه- رگچه‌های کوچک و پهنه‌های دگرسان شده قابل مشاهده است.



شکل ۹ ترکیب فلدسپارهای تجزیه شده از سنگ‌های آتشفشانی گردنه آهوان در نمودار سه‌تایی An-Ab-Or [۳۰].

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]



شکل ۱۰ تصویر BSE از درشت بلورهای پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های آتشفشانی گردنه آهوان. پلاژیوکلازها فاقد منطقه‌بندی هستند و ترکیب بیشتر آنها آلبیتی است.

برداشت

در منطقه گردنه آهوان در ۲۶ کیلومتری شمال شرق سمنان، طیف گسترده‌ای از سنگ‌های بازالتی، آندزیتی و تراکی آندزیتی ائوسن دیده می‌شود. این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری، هیالوپورفیری و گلومروپورفیری هستند. کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز، اصلی‌ترین کانی‌های موجود در بازالت‌های این منطقه هستند. مطالعه شیمی کلینوپیروکسن‌ها نشان داد که:

- ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های بازالت‌ها از نوع دیوپسید است.

- بلورهای کلینوپیروکسن با اندازه متوسط، اگر چه دارای منطقه‌بندی معکوس هستند ولی اختلاف عناصر بین هسته و کناره زیاد نیست و نشان‌دهنده تبلور کلینوپیروکسن‌ها در یک مخزن ماگمایی است.

- زون بینابین مرکز و حاشیه کلینوپیروکسن‌ها، از Fe، Al و Ti تهی شده و از Mg، Ca و Si غنی شده است که این الگوی توزیع عناصر با تزریق گامه‌های ماگمایی و حرکت همرفتی ماگما در مخزن ماگمایی قابل تفسیر است.

- کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی از یک ماگمای مادر با ترکیب قلیایی تا نیمه قلیایی و دارای ۲ تا ۵ درصد آب و گریزندگی اکسیژن بالا متبلور شده‌اند.

- بر پایه بررسی‌های دما-فشارسنجی، فشار بدست آمده برای تشکیل کلینوپیروکسن‌های موجود در بازالت‌های مورد بررسی در گستره ۱ کیلوبار و گستره دمایی ۱۲۳۰-۱۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که معادل عمق ۳ کیلومتری زمین است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود بخاطر حمایت‌های مادی و معنوی در انجام این پژوهش تشکر می نمایند.

مراجع

[1] Etesami S., *"Petrology of the Eocene volcanic rocks in the southern of Ahovan, E Semnan"*. M.Sc. Thesis, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran (2012) 143Pages.

[2] Mohseni S., *"Petrology, Geochemistry and mineralization potential of igneous rocks of NE Semnan"*, M.Sc. Thesis, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University (2002) 140Pages.

[3] Shahosseni E., *"Petrology, geochemistry and mineralization potential of igneous rocks of north and northeast of Semnan"*, M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2007) 165Pages.

[4] Khorasani E., *"Investigation of deformation of Mesozoic and Cenozoic rock units in northeast of Semnan (North of Ahovan)"*, M.Sc. Thesis, Faculty

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

[17] Moretti R., "*Polymerisation, basicity, oxidation state and their role in ionic modelling of silicate melts*", Annals of Geophysics (2005).

[18] Botcharnikov R. E., Koepke J., Holtz F., McCammon, C., Wilke M., *The effect of water activity on the oxidation and structural state oxidation of Fe in a ferro-basaltic melt*", Geochimica Cosmochimica Acta 69 (2005) 5071–5085.

[19] Schweitzer E. L., Papike J. J., Bence A. E., "*Statitical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts*", American Mineralogist 64 (1979) 501-513.

[20] Lindsley D.H., "*Pyroxene thermometry*", American Mineralogist, 68 (1983) 477-493.

[21] Le Base M. J., *The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their Parentage*", American Journal of Science 260 (1962) 267-288.

[22] Helz R. T., "*Phase relations of basalts in their melting range at PH2O= 5 kb as a function of oxygen fugacity*", Journal of Petrolology 17 (1973) 139-193.

[23] Soesoo A., "*A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations*", Geological Society of Sweden (Geologiska Foreningen) 119 (1997) 55-60.

[24] Baker D. R., David H. E "*Compositions of anhydrous and hydrous melts coexisting with plagioclase, augite, and olivine or low-Ca pyroxene from 1 atm to 8 kbar: Application to the Aleutian volcanic center of Atka*", American Mineralogist 72 (1987) 12-28.

[25] Higgins M. D., Roberge J., "*Three magmatic components in the 1973 eruption of Eldfell volcano, Iceland: Evidence from plagioclase crystal size distribution (CSD) and geochemistry*", journal of Volcanology and Geothermal Reserch 161 (2007) 247-260.

[26] Leterrier J., Maurry R. C., Thonon P., Girard

of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2014) 166Pages.

[5] Sadeghian M., Mirbagheri S.R., *"Narkan Geological Quadrangle Map 1:25000",* Geological Survey of Iran, Tehran (2012).

[6] Papazzoni C.A., Sirotti A., "*Nummulite biostratigraphy at the Middle/Upper Eocene boundary in the Northern Mediterranean area*", Rivista Italiana di Paleontologiae Stratigrafia 101 (1995) 63-80.

[7] Nabavi M.H, *"Semnan Geological Quadrangle Map 1:100000",* Geological Survey of Iran, Tehran (1987).

[8] Alavui-Nahini M., Hammedi A.R., *"Jam Geological Quadrangle Map 1:100000",* Geological Survey of Iran, Tehran (1997).

[9] Kretz R., *"Symbols for rock-forming minerals",* American Mineralogist, 68 (1983) 277-279.

[10] Putirka K. D., "*Thermometers and barometers for volcanic systems", Reviews in Mineralogy and Geochemistry*", 69 (2008) 61-120.

[11] Nimis P., "*A clinopyroxene geobarometer for basaltic systems based on crystals-structure modeling*", Contribution to Mineralogy and Petrology 121 (1995) 115-125.

[12] Shelley D., "*Igneous and Metamorphic rocks under the microscope"*, Chapman and hall (1993) 445.

[13] Morimoto N., "*Nomenclature of pyroxenes*", Fortschr mineral 66 (1988) 237-252.

[14] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "*Single-chain silicates (Vol. 2)*", London: Longman (1978).

[15] Kress V. C., Carmichael I. S. E., "*The compressibility of silicate liquids containing Fe_2O_3 and the effect of composition, temperature, oxygen fugacity and pressure on their redox states. Contrib. Mineral*", Petrol. 108 (1991) 82–92.

[16] Kilinc A., Carmichael I. S. E., Rivers M. L., Sack R. O., "*The ferric-ferrous ratio of natural silicate liquids equilibrated in air*", Contrib. Mineral. Petrol. 83 (1983) 136–140.

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]

Geology, 77 (1989) 165-182.
[29] Blatt H., Tracy R., Owens B., *"Petrology: igneous, sedimentary and metamorphic",* Macmillan (2006).
[30] Mullaei H., *"Mineralogy Atlas, Sokhan Gostar and Research Deputy of Islamic Azad University of Mashhad Publishing",* (2006) 352 Pages.
[31] Deer W.A., Howie A., Zussman J., *"An interduction to the rock – formingminerals"*, 17th ed., (1986) Longman Ltd, 528P.

D., Marchal M., *"Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinites of paleo-volcanic series"*, Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 139-154.
[27] Nisbet E. G., Pearce J.A., *"Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings"*, Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 149–160.
[28] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G. B. Zeda O., "*Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator"*, Chemical

[DOI: 10.29252/ijcm.26.2.339]